

Kausalerklärung in einer Modellsprache

Christian Ullmann

1974

KAUSALERKLÄRUNG
IN EINER MODELLSPRACHE

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Philosophischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Christian Ullmann

aus München

München

1974

Referent: Prof. Dr. Dr. *Wolfgang Stegmüller*

Korreferent: Prof. Dr. *Max Käsbauer*

Tag der mündlichen Prüfung: 25. Februar 1974



EINLEITUNG

Zum erstenmal versuchten *C.G. Hempel* und *P. Oppenheim* in ihrem im Jahre 1948 erschienenen Aufsatz: "Studies in the Logic of Explanation" ¹⁾ zu präzisieren, was unter einer wissenschaftlichen Erklärung zu verstehen sei. Die Autoren verstehen darunter einen deduktiven Schluß von allgemeinen Gesetzesaussagen und singulären Antecedensbedingungen (oder Prämissen), die zusammen das sogenannte Explanans bilden, auf das Explanandum, das wiederum ein singulärer Satz ist. Das H-O-Schema, wie dieses Erklärungsschema mittlerweile nach seinen Autoren oftmals abkürzend genannt wird, erwies sich jedoch als nicht adäquat: Es zeichnete gewisse logische Ableitungen als wissenschaftliche Erklärungen aus, die man vom intuitiven Vorverständnis, etwa von Einzelwissenschaftlern, nicht als solche anerkennen will und deshalb ausgeschlossen haben möchte. In der nachfolgenden Diskussion schlugen deshalb verschiedene Autoren ²⁾ Änderungen und Korrekturen vor oder sie konzipierten ganz neue Schemata, die sich jedoch alle in anderer Weise als inadäquat herausstellten.

Diesen nachfolgenden Konzeptionen eines Erklärungsbegriffs hat das H-O-Schema bis heute voraus, daß es intuitiver Hintergrund für alle Überlegungen zu diesem Problemkomplex geblieben ist. Dies hat vermutlich mehrere Gründe: Dem H-O-Schema gebührt die historische Priorität, und es ist sehr einfach, d.h. leichtverständlich für Einzelwissenschaftler, denen es als Hilfsmittel dienen soll. Der entscheidende Grund dafür, daß es trotz erwiesener Mängel bisher nicht aus der wissenschaftstheoretischen Diskussion zu verdrängen war, dürfte jedoch der Umstand sein, daß das Schema auf eine sehr durchsichtige Weise zu weit ist: Es schließt keine in der Praxis auftretenden Fälle wissenschaft-

¹⁾ Bibliographische Angaben am Ende der Arbeit

²⁾ Nähere Angaben im systematischen Teil,
bibliographische Angaben am Ende der Arbeit

licher Erklärung als solche aus, und die unerwünschten kommen in der praktischen Arbeit nicht vor. Die Lösung des Problems erscheint einfach und ist trotzdem bisher nicht befriedigend gelöst. Man müßte "ja nur" durch geeignete Zusatzannahmen für die Eliminierung der "pathologischen" Argumente Sorge tragen.

Traditionell wird die Diskussion des Erklärungsbegriffs am Philosophischen Seminar II der Ludwig-Maximilians-Universität München sorgfältig verfolgt. Äußeres Zeichen dieses wissenschaftlichen Interesses sind die ausführliche Darstellung des gesamten Fragenkomplexes in *W. Stegmüller*: "Wissenschaftliche Erklärung und Begründung" ¹⁾ sowie ein unveröffentlichtes Skript von *M. Käsbauer*: "Formale Kausalität" ¹⁾, das jedoch in dem genannten Buch von *W. Stegmüller* ausführlich besprochen wird.

In dieser Arbeit versuche ich, das Problem neu anzugehen, gleichzeitig aber die intuitiven Annahmen des H-O-Schemas zu rechtfertigen. Es wird davon ausgegangen, daß der Hauptmangel aller bisherigen Versuche, einen adäquaten Begriff der wissenschaftlichen Erklärung zu präzisieren, im Fehlen eines befriedigenden Gesetzesbegriffs liegt. Deshalb versuchten die Autoren jeweils, einen Erklärungsbegriff unter Abstraktion vom Gesetzesbegriff zu konzipieren. Beim Nachweis der Inadäquatheit dieser Schemata werden jedoch alle möglichen Allsätze als Gesetzesaussagen eingesetzt (und zum Teil sogar empirisch interpretiert), von denen man gar nicht wissen kann, ob sie die syntaktische Struktur empirischer Gesetze haben. Wenn man jedoch einen Erklärungsbegriff unter Abstraktion vom Gesetzesbegriff gewinnen will, kann man seine Inadäquatheit nicht hinterher mit Hilfe einer - wie auch immer gearteten - Gesetzesaussage erweisen.

In dieser Arbeit soll zunächst ein präzises Schema für Kausalgesetze gewonnen werden. Auf Grund dieses Begriffs wird ein neues Erklärungsschema vorgeschlagen, das mit dem intuitiven

¹⁾ Bibliographische Angaben am Ende der Arbeit

Hintergrund des H-O-Schemas in Einklang steht. Dieses Schema dient dann als "Maßstab" zur Überprüfung der bisher vorgebrachten Gegenargumente gegen die früheren Schemata; sie können - soweit sie überhaupt in der neu konzipierten Sprache formuliert werden können - gegen das vorliegende Konzept nicht mehr vorgebracht werden. Als Grundlage für die Überprüfung dient dabei die Darstellung, die *W. Stegmüller* gegeben hat; der Hauptgrund hierfür ist, daß dort sämtliche bisherigen Argumente zu diesem Problemkreis in einer einheitlichen Symbolsprache zusammengefaßt sind.

Nicht zuletzt *W. Stegmüller* hat auch darauf hingewiesen, daß in den Arbeiten zum Erklärungsbegriff trotz aller Präzision auf der einen, begriffliche Unklarheiten auf der anderen Seite auftreten. So deutet etwa *M. Käsbauer* alle vorangegangenen Erklärungsversuche als Schemata für Kausalerklärungen und steht damit im Widerspruch zu anderen Meinungen. Auch diese Unklarheiten resultieren letztlich aus dem Fehlen eines adäquaten Gesetzesbegriffs. Mit der in dieser Arbeit vorgenommenen Präzisierung eines von verschiedenen Gesetzesbegriffen, dem des Kausalgesetzes, ergibt sich gleichzeitig ein enger Erklärungsbegriff. Dies besagt natürlich nicht, daß es neben Kausalerklärungen nicht auch noch andere Arten des wissenschaftlichen Erklärens gibt und dafür auch adäquate Schemata geben sollte, etwa für induktive bzw. statistische Erklärungsverfahren verschiedener Wissenschaften oder politische oder juristische Erklärungen. Von allem Anfang an habe ich nicht beabsichtigt, ein universelles Erklärungsschema zu erarbeiten, und deshalb wird es universellen Ansprüchen nicht genügen.

W. Stegmüller gibt in seinem Buch ein Beispiel von *U. Blau*, von dem er meint, es richte sich bei entsprechender Interpretation gegen alle Erklärungsversuche. Im Gegensatz dazu möchte ich die These aufstellen, daß es überhaupt kein Gegenbeispiel gegen ein Erklärungsschema darstellt, weil es offenbar gar kein Beispiel einer Erklärung sondern eine Art deskriptiver Beweis ist. Solche Beweisführungen spielen in vielen empirischen Wissenschaften eine wichtige Rolle; hier seien nur die angewandte Geo-

metrie, die Chemie und die Gerichtsmedizin genannt. In der wissenschaftlichen Praxis werden häufig deskriptive Beweisführungen als Hilfsmittel für Erklärungen und umgekehrt Erklärungen als Hilfsmittel für deskriptive Beweise auftreten; oder in längere Beweisketten werden beide Schlußarten einfließen, ohne daß man die gesamte Kette eindeutig entweder als Erklärung oder deskriptiven Beweis bezeichnen könnte.

Ein in der Umgangssprache formuliertes Beispiel mag dies verdeutlichen: Als gesichertes naturwissenschaftliches Gesetz gelte der Satz: Alle Menschen, die Zyancali schlucken, sterben. Person a sei tot. Als Antecedensbedingung im Sinne des H-O-Schemas werde zunächst der Verdacht formuliert: Person a hat Zyancali geschluckt. Daraus würde dann unmittelbar folgen, daß Person a an Zyancalivergiftung gestorben sei. Zur Verschärfung des "Antecedens-Verdachts" zu empirischer Gewißheit werden weitere Beobachtungen angeordnet, etwa Laboruntersuchungen, die bestätigen: Person a hat Zyancali geschluckt. Das wissenschaftliche Beweisverfahren hierfür kann offenbar nicht als Erklärung bezeichnet werden, so kompliziert es auch sein mag. Allerdings können innerhalb dieses Verfahrens wieder "Hilfserklärungen" auftreten, etwa chemische Reaktionen betreffend; diese wären aber dann überflüssig, wenn man Zyancali eindeutig durch direkte Sinneswahrnehmung, etwa am Geruch, erkennen könnte. Man kann dieses Beispiel noch weiterführen: Wenn zweifelsfrei festgestellt sein sollte, daß Person a das Gift geschluckt hat, kann man Motivationsforschung betreiben und zu begründen versuchen, ob Mord oder Selbstmord vorliegt und welches die Gründe hierfür sind. Aber damit haben wir bereits einen Exkurs in eine Erklärungs- oder Begründungsproblematik unternommen, die aus dem Rahmen dieser Arbeit fällt.

M. Käsbauer hat überzeugende Plausibilitätsargumente dafür angeführt, den Erklärungsbegriff aufzugeben und stattdessen von Begründung zu sprechen. Zunächst konzipiere ich ein Schema in strenger Fassung, das es rechtfertigt, am (Kausal-) Erklärungsbegriff festzuhalten. Bei liberalerer Version - die ohne

weiteres möglich ist - erhält man ein Schema, das dem Begründungsbegriff entspricht. Damit kann der Begriff der Kausal-
erklärung als echter Teilbegriff der Kausalbegründung ein-
geführt werden.

Verschiedene Autoren (*R. Ackermann, A. Stenner, I.A. Omer, R. Tuomela*) unternahmen den Versuch, den Erklärungs-begriff so weit zu fassen, daß er neben der Erklärung von Einzeltatsachen auch die Erklärung von Gesetzen umfaßt. *W. Stegmüller* schreibt hierzu ¹⁾: "Es dürfte sich bei der Erklärung von akzidentiellen Einzeltatsachen auf der einen Seite und der Erklärung von Ge-
setzen und Theorien auf der anderen um kategorial verschiedene Erklärungstypen handeln." Er äußert Skepsis gegenüber der These, "daß es gelingen könne, einen inhaltlich adäquaten wie formal präzisen Begriff der Erklärung einzuführen, der zwei anscheinend kategorial verschiedene Fälle umfaßt, nämlich sowohl die Er-
klärung von akzidentiellen Tatsachen als auch die Erklärung von Gesetzen und Theorien" ²⁾. Schließlich meint er: "Die Einbettung von Gesetzen und Teiltheorien in umfassendere theoretische Zu-
sammenhänge sollte innerhalb einer Untersuchung über wissen-
schaftliche Begriffs- und Theorienbildung, nicht aber in Er-
örterungen über die Formen wissenschaftlicher Erklärungen den Gegenstand wissenschaftstheoretischer Analysen bilden." ³⁾.

Vorliegende Arbeit kann als Beitrag dazu angesehen werden, diesen Standpunkt zu erhärten. Denn mit der auf Kausalfälle eingeschränkten Präzisierung des Erklärungs-begriffs kann man sagen, die Formulierung: Ein Gesetz oder eine Teiltheorie folge *kausal* aus einer umfassenderen Theorie, ergibt überhaupt keinen Sinn. Aus diesem Grund wurde darauf verzichtet, in dieser Arbeit auf die Diskussion der Erklärung von Gesetzen einzugehen. Trotz-
dem sind die Arbeiten der oben genannten Autoren im biblio-
graphischen Anhang aufgeführt.

¹⁾ *W. Stegmüller*, [Erklärung], Seite 757

²⁾ *W. Stegmüller*, [Erklärung], Seite 760

³⁾ *W. Stegmüller*, [Erklärung], Seite 777

Wie bereits erwähnt, formuliere ich in dieser Arbeit ein präzises Schema für Kausalgesetze. Hierzu ist zunächst eine Modellsprache L zu konzipieren. In einem ersten Schritt werden Zeichentabelle und Formregeln angegeben. L sei teilweise empirisch interpretiert, d.h. sie enthält undefinierte Grundprädikate mit empirischer Bedeutung. Mit Hilfe dieser Grundprädikate werden die üblichen Identitätsaxiome formuliert und danach eine Zeitordnung axiomatisiert.

Zentraler Begriff dieser Arbeit ist der des Sachverhalts. In Punkt 4 wird die syntaktische Form der Sachverhaltsbeschreibung festgelegt. Entscheidendes Charakteristikum einer Sachverhaltsbeschreibung ist, daß darin nur ein Zeitargument vorkommen kann, aber auch vorkommen muß. Es werden zwei verschiedene Arten der Identität von Sachverhalten unterschieden und Zeichen dafür definiert: eine zeitinvariante Identität, die dann vorliege, wenn sich die Beschreibungen zweier Sachverhalte nur in ihren Zeitzeichen unterscheiden, und eine zeitabhängige Identität, bei deren Vorliegen auch die Zeitpunkte identisch sein müssen. Mit Hilfe dieser Identitätszeichen werden anschließend die Begriffe "Sachverhaltstyp", "zeitabhängiger Sachverhalt" und "individuumabhängiger Sachverhalt" definiert. Ferner kann eine Später-Relation zwischen Sachverhalten definiert werden.

Nach dieser Vorbereitung wird die Relation der Nachfolge zwischen Sachverhalten partiell bestimmt, d.h. es werden Axiome angegeben, die als Mindestbedingungen erfüllt sein müssen, damit man vom Vorliegen dieser Relation sprechen kann.

Nach zwei Definitionen für "Stabilität" und "absolute Stabilität" wird der Begriff der kausalen Nachfolge von Sachverhalten definiert. Ein Sachverhalt sei genau dann kausaler Nachfolger eines anderen Sachverhalts, wenn er der einzige Nachfolgesachverhalt und nicht zeitinvariant identisch (also ein vom Vorgänger verschiedener Sachverhalt) ist. Eine Zahl von Gesetzen, insbesondere ein Gesetz des "kausalen Modus Ponens" werden bewiesen. Danach

wird der Begriff der kausalen Ableitbarkeit definiert. In Punkt 8 wird ein Schema für Kausalgesetze eingeführt.

Damit ist das Instrumentarium erarbeitet, das die Formulierung eines neuen Erklärungsschemas mit einem präzisen Gesetzesbegriff ermöglicht; dieses Schema wird in Punkt 9 entwickelt. An Hand der gegen frühere Schemata vorgebrachten Argumente wird es einer ersten Prüfung unterzogen, die positiv ausfällt.

Schließlich sei an dieser Stelle der früher verwendete und an einem Beispiel illustrierte Begriff des deskriptiven Beweises etwas näher erläutert, ohne daß er später in den systematischen Teil der Arbeit Eingang finden soll. Im allgemeinen werden zwei Arten wissenschaftlicher Tätigkeiten unterschieden: Beschreiben und Erklären. Man sagt, eine Beschreibung liege dann vor, wenn sie die Antwort auf eine "Was-ist-Frage" sei. Hingegen sei eine Tatsache dann erklärt, wenn die Antwort auf eine "Warum-Frage" gegeben sei ¹⁾. Ein Geometer etwa kann Landvermessungen vornehmen, indem er in einem Gelände sämtliche Entfernungen, Standpunkte von Bäumen, Häusern, Wegmarkierungen usw., Begrenzungen, Richtungen mit empirischen Methoden feststellt, d.h. mißt. Er weiß jedoch, daß seine Messungen nicht nur umständlich und zeitraubend, sondern auch ungenau sein werden. Deshalb begnügt er sich, seine empirischen Feststellungen auf ein absolut erforderliches Mindestmaß zu beschränken und alle weiteren Daten daraus mit mathematisch-analytischen Methoden abzuleiten. Trotzdem wird man nicht für den Fall vollständiger empirischer Messung sagen wollen, es liege eine Beschreibung und im Falle der Zuhilfenahme analytischer Methoden (also gültiger Gesetze), es liege eine Erklärung vor. Für solche Fälle, unter die meiner Meinung nach auch die üblichen "Alle Smaragde sind grün"-Beispiele zu subsumieren sind, die deduktive Ableitungen eines "Deskriptandums" aus deskriptiven Gesetzen und singulären Prämissen darstellen, wird die Bezeichnung "deskriptiver Beweis" vorgeschlagen.

¹⁾ Nähere Ausführungen hierzu bei: W. Stegmüller, [Erklärung], Seite 76.

Hier zeigt sich nun, daß auch mit vorliegender Arbeit das bisher ungelöste Problem des H-O-Schemas, das unter der Bezeichnung "partielle Selbsterklärung" diskutiert wurde, nicht gelöst ist. Es taucht vielmehr, folgt man obiger Argumentation, unter dem neuen Namen "partielle Selbstbeschreibung" wieder auf. Welche Bedeutung es im Rahmen einer systematischen Theorie der wissenschaftlichen Beschreibung hat, soll hier im einzelnen nicht erörtert werden. Der Hinweis sei aber erlaubt, daß das Problem unter neuem, wesentlich eingeschränktem Aspekt so trivial durchsichtig erscheint, daß man nunmehr akzeptieren könnte, was man für Erklärungen nicht hinzunehmen bereit war: Man läßt partielle Selbstbeschreibungen im Rahmen deskriptiver Beweisführungen zu.

Mit Herrn Dr. Peter *Hinst* habe ich vorliegende Arbeit eingehend diskutiert; ihm danke ich für zahlreiche Anregungen und Verbesserungsvorschläge.

1 Sprachliche Voraussetzungen - die Modellsprache L

Gegeben sei eine Sprache L der Klassenlogik, d.h. eine um den Klassenoperator λ erweiterte Sprache der Prädikatenlogik mit Identitätszeichen; sie ist durch folgende Zeichentabelle und Formregeln bestimmt:

1.1 Zeichentabelle

1.1.1 Prädikate, n-stellig, mit oberem Index für die Stellenzahl (der untere Index dient der Unterscheidung):

$A^n, A_1^n, A_2^n, A_3^n, \dots$

$B^n, B_1^n, B_2^n, B_3^n, \dots$

$C^n, C_1^n, C_2^n, C_3^n, \dots$

$D^n, D_1^n, D_2^n, D_3^n, \dots$

(Diese Prädikate sind *uninterpretierte Konstanten* in L.)

Interpretierte (empirische) Prädikate:

S^2 (für: später, zweistellig)

F^2 (für: früher, zweistellig)

Variablen für Klassenterme:

(n-stellig, mit oberem Index für die Stellenzahl)

$G^n, G_1^n, G_2^n, G_3^n, \dots$

$H^n, H_1^n, H_2^n, H_3^n, \dots$

Die syntaktischen Festlegungen für Klassenterme werden in den Formregeln gegeben.

Variablen für Klassenterme oder Prädikate:

(n-stellig, mit oberem Index für die Stellenzahl)

$I^n, I_1^n, I_2^n, I_3^n, \dots$

$K^n, K_1^n, K_2^n, K_3^n, \dots$

1.1.2 Individuenzeichen:

(Bereich: Dinge, Orte, Menschen)

(1) Variablen: $x, x', x'', \dots, y, y', y'', \dots, z, z', z'', \dots$

(2) Konstanten: $a_1, a_2, a_3, \dots, b_1, b_2, b_3, \dots,$
 $c_1, c_2, c_3, \dots$

1.1.3 Zeitzeichen:

(Bereich: Zeitpunkte)

(1) Variablen: $t, t', t'', \dots$

(2) Konstanten: $t_1, t_2, t_3, \dots$

1.1.4 Sachverhaltszeichen:

(Bereich: Sachverhalte)

(1) Variablen: $s, s', s'', \dots$

(2) Konstanten: $s_1, s_2, s_3, \dots$

1.1.5 Logische Zeichen und syntaktische Hilfszeichen:

$\neg$ Negationszeichen

$\wedge$ Konjunktionszeichen

$\vee$ Disjunktionszeichen

$\rightarrow$ Implikationszeichen

$\leftrightarrow$ Äquivalenzzeichen

$\forall$ Allquantor

$\exists$ Existenzquantor

λ Klassenoperator

$=$ Identitätszeichen für Individuen, Zeitpunkte und Prädikate

$\equiv$ Identitätszeichen für zeitinvariante Sachverhalte (wird definiert)

$\equiv$ Identitätszeichen für zeitabhängige Sachverhalte (wird definiert)

linke und rechte Klammer

Komma

1.2 Formeln

Wenn ϕ^n ein n -stelliges Prädikat ist (aber nicht S^2 und F^2) und wenn $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ Individuen- oder Zeitzeichen sind, dann sind folgende Zeichenreihen Formeln in L :

- (1) $\phi^n(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n)$
- (2) $\alpha_1 = \alpha_2$

Wenn ψ^2 ein Zeitprädikat (also S^2 oder F^2) ist, und wenn τ_1 und τ_2 Zeitzeichen sind, dann sind folgende Zeichenreihen Formeln in L :

- (3) $\psi^2(\tau_1, \tau_2)$
- (4) $\tau_1 = \tau_2$

Die Formregeln für die Zeichen " $\exists$ " und " $\forall$ " sowie für weitere zulässige Formeln (S -Formeln) werden später gegeben.

Formeln gemäß (1), (2), (3) und (4) sowie deren Negationen seien *Basisformeln* in L .

Wenn Δ und Π Formeln in L sind, dann sind auch folgende Zeichenreihen Formeln in L :

- (5) $(\Delta \wedge \Pi), (\Delta \vee \Pi), (\Delta \rightarrow \Pi), (\Delta \leftrightarrow \Pi)$

Wenn Σ eine Formel in L ist und β eine Individuenvariable, Zeitvariable oder Sachverhaltsvariable, dann sind auch folgende Zeichenreihen Formeln in L :

- (6) $\wedge \beta(\Sigma), \vee \beta(\Sigma)$

1.3. Klassenterme (deskriptive Ausdrücke für Klassen):

Ist $\phi^n[\alpha_1, \dots, \alpha_{n-1}, \tau_n]$ eine Formel in L mit den freien Individuenvariablen $\alpha_1, \dots, \alpha_{n-1}$ und einer freien Zeitvariable τ_n , dann ist folgende Zeichenreihe ein Klassenterm in L:

$$\lambda \alpha_1, \dots, \alpha_{n-1}, \tau_n \phi^n[\alpha_1, \dots, \alpha_{n-1}, \tau_n]$$

Damit ist u.a. festgelegt, daß nur solche Zeichenreihen Klassenterme sind, die genau ein Zeitzeichen als Argument haben.

1.4 Sachverhaltsbeschreibungsformeln (S-Formeln):

Ist ψ ein Klassenterm der Form

$$\lambda \alpha_1, \dots, \alpha_{n-1}, \tau_n \phi^n[\alpha_1, \dots, \alpha_{n-1}, \tau_n]$$

und sind $\gamma_1, \dots, \gamma_{n-1}$ Individuenzeichen,

und ist δ_n ein Zeitzeichen, dann ist folgende Zeichenreihe eine Formel in L:

$$(7) \quad \psi(\gamma_1, \dots, \gamma_{n-1}, \delta_n)$$

1.5 Sätze

Formeln nach 1.2 und 1.4, deren Individuen-, Zeit- und Sachverhaltszeichen entweder Konstanten oder durch Quantoren oder den λ -Operator gebundene Variablen sind, seien Sätze in L.

Sätze ohne die logischen Zeichen $\wedge, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow, \lambda$ und die Quantoren seien *Basissätze* in L.

1.6 Erweiterungen von L:

Erweiterungen von L durch Hinzufügen neuer Zeichen und Formeln zu der Zeichentabelle bzw. den Formregeln seien zulässig.

2 Identität von Individuen, Zeitpunkten, Prädikaten und Klassentermen:

Das Zeichen "=" als Identitätszeichen für Individuen, Zeitpunkte, Prädikate und Klassenterme sei undefiniertes Grundprädikat.

Für die Identität von Prädikaten gelte das Extensionalitätsaxiom:

$$\underline{G_1 1} \quad (I = K) \leftrightarrow \Lambda x [I(x) \leftrightarrow K(x)]$$

ϵ , ϵ' und ϵ'' seien Individuenzeichen oder Zeitzeichen oder Prädikate oder Klassenterme; dann gelte:

Symmetrie der Identität

$$\underline{G_1 2} \quad \Lambda \epsilon, \epsilon' [(\epsilon = \epsilon') \rightarrow (\epsilon' = \epsilon)]$$

Transitivität der Identität

$$\underline{G_1 3} \quad \Lambda \epsilon, \epsilon', \epsilon'' [(\epsilon = \epsilon') \wedge (\epsilon' = \epsilon'') \rightarrow (\epsilon = \epsilon'')]$$

Aus der Symmetrie und der Transitivität folgt die Reflexivität der Identität

$$\underline{G_1 4} \quad \Lambda \epsilon (\epsilon = \epsilon)$$

3

Zeitordnung:

S^2 und die Identität seien die einzigen undefinierten, empirisch interpretierten Zeitprädikate.

("S²(t, t') " sei zu lesen als: "t ist später als t'".)

Die Symmetrie und Transitivität sowie daraus folgend die Reflexivität der Zeitpunktidentität wurde bereits festgestellt.

F² kann definiert werden:

$$\underline{D_z 1} \quad F^2(t, t') \leftrightarrow S^2(t', t)$$

("F²(t, t') " sei zu lesen als: "t ist früher als t'".)

S² solle folgenden Axiomen genügen (wegen der Ersetzungsmöglichkeit von S² durch F² nach D_z1 genügt auch F² diesen Axiomen):

Konnexität

$$\underline{G_z 1} \quad \forall t, t' [S^2(t, t') \vee S^2(t', t) \vee (t=t')]$$

Dies besagt, daß von zwei beliebigen Zeitpunkten entweder einer später als der andere ist oder daß sie identisch sind.

Asymmetrie von S²

$$\underline{G_z 2} \quad \forall t, t' [S^2(t, t') \rightarrow \neg S^2(t', t)]$$

Dies besagt, daß wenn von zwei beliebigen Zeitpunkten einer später als der andere ist, nicht umgekehrt dieser (der andere) später als jener sein kann.

Transitivität von S²

$$\underline{G_z 3} \quad \forall t, t', t'' [S^2(t, t') \wedge S^2(t', t'') \rightarrow S^2(t, t'')]$$

Diskretheit der Zeitordnung

$$\underline{G_z 4} \quad \forall t \forall t' \neg \forall t'' [S^2(t'', t') \wedge S^2(t, t'')]]$$

G_z4 besagt, daß es zu jedem Zeitpunkt einen späteren gibt, der so dicht folgt, daß es dazwischen keinen weiteren gibt. Dies ist eine pragmatische Annahme, die der Anschaulichkeit dienen soll; sie kann jedoch auch durch eine andere ersetzt oder offengelassen werden.

Unendlichkeit der Zeitordnung

$$\underline{G_z 5} \quad \forall t \forall t', t'' [S^2(t', t) \wedge S^2(t, t'')]]$$

Dies besagt, daß es zu jedem beliebigen Zeitpunkt sowohl einen späteren wie einen früheren gibt, daß also die Zeitordnung keinen Anfang und kein Ende hat.

Irreflexivität von S²

$$\underline{G_z 6} \quad \forall t, t' [S^2(t, t') \rightarrow \neg(t=t')]]$$

Dies besagt, daß zwei beliebige Zeitpunkte nicht identisch sind, wenn einer von ihnen später als der andere ist.

Die Irreflexivität von S² kann bewiesen werden; dabei nimmt man zunächst die Negation von G_z6 an und leitet daraus einen Widerspruch zu einem bisherigen Axiom ab; im Detail:

Annahme	$\neg \forall t, t' [S^2(t, t') \rightarrow \neg(t=t')]]$
Umformung	$\neg \forall t, t' [\neg S^2(t, t') \vee \neg(t=t')]]$
Umformung	$\forall t, t' [S^2(t, t') \wedge (t=t')]]$

Wegen der Symmetrie der Zeitpunktidentität gilt:

$$\forall t, t' [S^2(t, t') \wedge (t'=t)]$$

Dies steht im Widerspruch mit G_z2, der Asymmetrie von S².

4 Sachverhalte

Eine Sachverhaltsbeschreibung ist eine S-Formel der Form:

$$\lambda \xi_1, \dots, \xi_{n-1}, \tau \Phi^n [\xi_1, \dots, \xi_{n-1}, \tau] (\gamma_1, \dots, \gamma_{n-1}, \theta)$$

ohne freie Variablen.

Keine anderen Sätze seien Sachverhaltsbeschreibungen.

Es sei festgelegt: Für Sachverhaltsvariablen dürfen beliebige Sachverhaltsbeschreibungen eingesetzt werden.

Sachverhaltskonstante müssen definiert werden.

4.1 Identität von Sachverhalten

Aus empirischer Erfahrung wissen wir, daß bestimmte Sachverhalte periodisch oder unregelmäßig wiederkehren, etwa, "daß Vollmond ist" oder, "daß Hans baden geht". In Beschreibungen solcher Sachverhalte sind nur die Zeitzeichen verschieden. Diese Alltagserfahrung soll in der Modellsprache L präzise wiedergegeben werden können.

Unterscheiden sich Sachverhaltsbeschreibungen nur in den Zeitzeichen, so wollen wir sagen, zwischen solchen Sachverhalten bestehe *zeitinvariante Identität*; als Identitätszeichen für diese Identität gebrauchen wir "■".

Sind σ und σ' Sachverhaltsbeschreibungen, dann sei folgende Zeichenreihe eine zulässige Formel in L:

$$(8) \quad \sigma \Rightarrow \sigma'$$

Eine strengere Form der Identität von Sachverhalten ist gegeben, wenn zusätzlich die Zeitpunkte identisch sind; als Identitätszeichen für diese Identität gebrauchen wir "≡".

Sind σ und σ' Sachverhaltsbeschreibungen, dann sei folgende Zeichenreihe eine zulässige Formel in L:

$$(9) \quad \sigma \equiv \sigma'$$

Die beiden Identitätszeichen werden in der Metasprache durch Angabe von Wahrheitsbedingungen definiert:

D_s1

$(\sigma \equiv \sigma')$ ist wahr

genau dann wenn:

(1) σ ist eine Sachverhaltsbeschreibung der Form:

$$\lambda \xi_1, \dots, \xi_{n-1}, \tau \phi^n[\xi_1, \dots, \xi_{n-1}, \tau](\alpha_1, \dots, \alpha_{n-1}, \vartheta_1)$$

(2) σ' ist eine Sachverhaltsbeschreibung der Form:

$$\lambda \delta_1, \dots, \delta_{n-1}, \tau' \psi^n[\delta_1, \dots, \delta_{n-1}, \tau'](\beta_1, \dots, \beta_{n-1}, \vartheta_k)$$

(3) $[(\phi^n = \psi^n) \wedge (\alpha_1 = \beta_1) \wedge \dots \wedge (\alpha_{n-1} = \beta_{n-1})]$

Die Zeitpunktidentität ist offengelassen, d.h. die Zeitpunkte sind verschieden oder nicht.

Die Relation " $\equiv$ " ist transitiv und - da die Zeitpunkte nicht identisch zu sein brauchen - nicht symmetrisch.

D_s2

$(\sigma \equiv \sigma')$ ist wahr

genau dann wenn:

(1) $(\sigma \equiv \sigma')$ ist wahr

(2) $(\vartheta_i$ ist das Zeitargument von $\sigma)$ und

$(\vartheta_k$ ist das Zeitargument von $\sigma')$ und

$(\vartheta_i = \vartheta_k)$ ist wahr.

Die Relation " $\equiv$ " ist transitiv, symmetrisch und reflexiv.

Wegen D_S 2 (1) gilt:

$$\underline{G_S 1} \quad \wedge s, s' [(s \equiv s') \rightarrow (s \equiv s')]$$

Für einen späteren Beweis brauchen wir das Gesetz

$$\underline{G_S 2} \quad \wedge s, s' [(s \equiv s') \wedge s] \rightarrow s'$$

Der Beweis ergibt sich indirekt aus D_S 2:

Da s und s' vollständig identisch sind, ist s' immer dann wahr, wenn auch s wahr ist.

4.2 Sachverhaltstyp

$$\begin{aligned} \underline{D_S 3} \quad & (s \text{ ist ein Sachverhalt vom Typ } G^n) \leftrightarrow \\ & [\forall x_1, \dots, x_{n-1}, t (s \equiv G^n(x_1, \dots, x_{n-1}, t))]^* \end{aligned}$$

4.3 Zeitabhängiger Sachverhalt

$$\begin{aligned} \underline{D_S 4} \quad & (s \text{ ist ein Sachverhalt zum Zeitpunkt } t) \leftrightarrow \\ & [\forall G^n, x_1, \dots, x_{n-1} (s \equiv G^n(x_1, \dots, x_{n-1}, t))] \end{aligned}$$

4.4 Individuumabhängiger Sachverhalt

$$\begin{aligned} \underline{D_S 5} \quad & (s \text{ ist ein Sachverhalt über } a_k) \leftrightarrow \\ & \{ \forall G^n, x_1, \dots, x_{n-1}, t [s \equiv G^n(x_1, \dots, x_{n-1}, t) \wedge \\ & ((x_1 = a_k) \vee \dots \vee (x_{n-1} = a_k))] \} \end{aligned}$$

* Nach 1.1.1 sind G^n und H^n Variablen für Klassenterme.

4.5 Später-Relation zwischen Sachverhalten

Wir möchten ausdrücken können, daß ein Sachverhalt später sei als ein anderer. Als Zeichen für die (zweistellige) Späterrelation wählen wir " S_s^2 ".

$$\begin{aligned} \underline{D_s 6} \quad S_s^2(s, s') \leftrightarrow \\ \wedge t, t' [(s \text{ ist ein Sachverhalt zum Zeitpunkt } t) \\ (s' \text{ ist ein Sachverhalt zum Zeitpunkt } t') \rightarrow S_s^2(t, t')] \end{aligned}$$

(Entsprechend kann die Relation F_s^2 definiert werden.)

5 Die Relation der Nachfolge zwischen Sachverhalten

Durch Beobachtung wissen wir, daß auf gewisse bestehende Sachverhalte in zeitlichem Abstand andere nachfolgen und daß dieser zeitliche Nachfolgeablauf in vielen Fällen Regelmäßigkeiten unterliegt. Eine generelle Beschreibung solcher Regelmäßigkeiten nennen wir ein empirisches Gesetz. Nachfolgeabläufe wollen wir in der Modellsprache L adäquat darstellen und beschreiben können. Da dies mit den bisher gegebenen sprachlichen Mitteln nicht möglich ist, müssen wir L erweitern.

Für die Darstellung in L , daß zwischen Sachverhalten die Relation der Nachfolge vorliegt, gebrauchen wir das Zeichen " $\Rightarrow$ "; es ist ein *zweistelliges Relationszeichen* und soll keine Wahrheitsfunktion sein.

Wenn σ_1 und σ_2 S-Formeln in L sind, dann sei folgende Zeichenreihe eine zulässige Formel in L :

$$(10) \quad (\sigma_1 \Rightarrow \sigma_2)$$

($(\sigma_1 \Rightarrow \sigma_2)$ ist zu lesen als: σ_2 ist Nachfolgesachverhalt von σ_1 .)

Die Relation der Nachfolge zwischen Sachverhalten werde durch folgende Axiome, die als Mindestbedingungen erfüllt sein müssen, partiell bestimmt:

$$\underline{G_n 1} \quad \Lambda s, s' [(s \Rightarrow s') \rightarrow \forall x_n [(s \text{ ist Sachverhalt über } x_n) \wedge (s' \text{ ist Sachverhalt über } x_n)] \wedge S^2_S(s', s)]$$

Für jeden Sachverhalt gilt, daß er wenigstens einen Nachfolgesachverhalt hat:

$$\underline{G_n 2} \quad \Lambda s \vee s' (s \Rightarrow s')$$

Die Relation der Nachfolge zwischen Sachverhalten ist transitiv und asymmetrisch, so daß gilt:

$$\underline{G_n 3} \quad \Lambda s, s', s'' [(s \Rightarrow s') \wedge (s' \Rightarrow s'') \rightarrow (s \Rightarrow s'')]$$

$$\underline{G_n 4} \quad \Lambda s, s' [(s \Rightarrow s') \rightarrow \neg (s' \Rightarrow s)]$$

Mit der Asymmetrie von " S^2 " kann $\underline{G_n 4}$ bewiesen werden.

Besteht ein beliebiger Sachverhalt zu einem beliebigen Zeitpunkt, so besteht zu jedem folgenden Zeitpunkt wenigstens ein Sachverhalt aus der Menge seiner Nachfolgesachverhalte:

$$\underline{G_n 5} \quad \Lambda s, t \{ [(s \text{ ist Sachverhalt zur Zeit } t) \wedge s] \rightarrow [\wedge t' [S^2(t', t) \rightarrow \vee s' ((s' \text{ ist Sachverhalt zur Zeit } t') \wedge (s \Rightarrow s') \wedge s'))]] \}$$

Das folgende Gesetz wird insbesondere zur späteren Diskussion eines Falls von partieller Selbsterklärung gebraucht; der besseren Übersicht halber schreiben wir nur eine syntaktisch einfache Instanz hin:

$$\underline{G_n 6} \quad \Lambda x, t, s [\lambda x, t [I_1(x, t) \vee I_2(x, t)](x, t) \Rightarrow s \rightarrow (\lambda x, t [I_1(x, t)](x, t) \Rightarrow s) \wedge (\lambda x, t [I_2(x, t)](x, t) \Rightarrow s)]$$

In seiner allgemeinen Form gelte G_n für Prädikate mit beliebig hoher Stellenzahl und beliebig viele Disjunktionsglieder.

Wie bereits gesagt, sind G_1 bis G_6 Mindestbedingungen, mit denen die Bedeutung der Nachfolgerrelation zwischen Sachverhalten nicht vollständig erschöpft ist. Die Axiome können ergänzt werden durch weitere logische Gesetze oder Bedeutungsfestlegungen nach Art von G_6 oder durch allgemeine, d.h. für alle Einzelwissenschaften bindende empirische Gesetze, etwa nach Art von G_2 ergänzt werden.

Andererseits ist es jedoch auch möglich, durch Ergänzungen empirischer Gesetze oder Spezialisierungen allgemeiner Axiome Teilklassen von Nachfolgerrelationen zu charakterisieren. Ein besonderes Charakteristikum wäre etwa die periodische Wiederkehr eines Sachverhalts (bei Zeitinvarianz) in einem bestimmten System.

Als weitere wichtige empirische Aufgabe erscheint es auch, zu bestimmten Sachverhalten (oder Klassen von Sachverhalten) die möglichen Nachfolgesachverhalte zu beschreiben und quantitativ möglichst vollständig zu bestimmen. Ein umgangssprachliches Beispiel mag dies verdeutlichen: Der Satz "Würfel x wird geworfen" bezeichne eine Sachverhaltsklasse, d.h. Sachverhalte über beliebige Würfel. Die möglichen Nachfolgesachverhalte hierzu sind: eins wurde gewürfelt, zwei wurde gewürfelt, ..., sechs wurde gewürfelt.

In dem gegebenen Beispielfall liegt damit (für sechsseitige Würfel) die Zahl der möglichen Nachfolgesachverhalte genau fest; in empirischen Wissenschaften wird dies nicht immer so offensichtlich, vielmehr ein anzustrebendes Vollständigkeitsideal sein, von dem man außerdem nicht wissen kann, ob es - in bestimmten Fällen oder generell - zu erreichen

sein wird; hier ist also ein weiterer Unsicherheitsfaktor gegeben, der nur durch Induktionsschluß zu überbrücken sein wird. Aber wie man im vorliegenden Beispiel sofort ausschließen kann, daß als Nachfolgebehauptung oder -befund "acht wurde gewürfelt" wahr sein kann, haben auch in empirischen Wissenschaften "negative Determinationsverfahren" gerade bei der Erforschung indeterministischer Systeme einen hohen Erkenntniswert. In solchen Fällen wird ein Wissenschaftler argumentieren, er könne ausschließen, daß ein bestimmter Sachverhalt unter Würdigung einer vorgegebenen Ausgangslage eingetreten sei oder eintreten könne.

Mit diesem Exkurs überschreiten wir jedoch bereits den Rahmen der vorliegenden Arbeit. Es sollten damit auch nur Argumente dafür vorgebracht werden, daß es zweckmäßig ist, den Begriff der Nachfolge von Sachverhalten nur durch bestimmte Mindestanforderungen zu axiomatisieren und ansonsten offenzulassen.

Wegen der Transitivität erscheint es zweckmäßig, zwischen *direkten* und *indirekten* Nachfolgesachverhalten zu unterscheiden:

$$\underline{D_n 1} \quad (s \xrightarrow{d} s') \leftrightarrow [(s \Rightarrow s') \wedge \neg \forall s'' ((s \Rightarrow s'') \wedge (s'' \Rightarrow s'))]$$

$$\underline{D_n 2} \quad (s \xrightarrow{i} s') \leftrightarrow [(s \Rightarrow s') \wedge \neg (s \xrightarrow{d} s')]$$

5.1 Grafische Darstellung

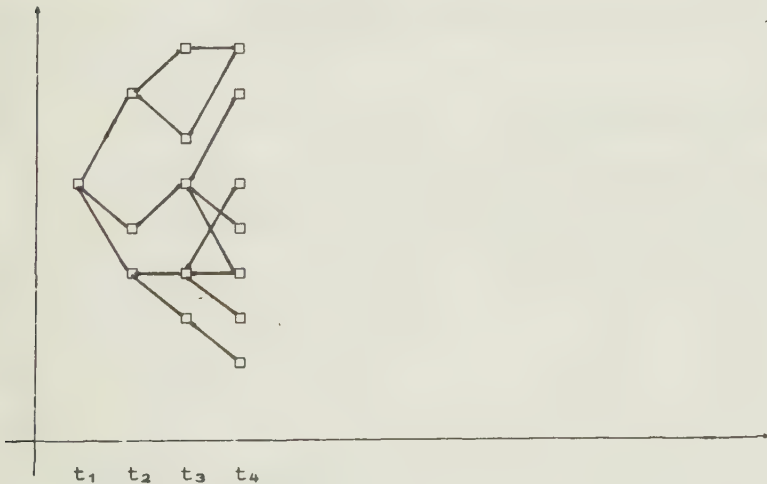
Bei entsprechender Zuordnung von Bildelementen und Sätzen der Sprache L ist eine grafische (Hilfs-)Darstellung möglich, die der Anschaulichkeit und besseren Systematisierung dienen soll. Damit kann man eine Modellwelt zeichnen und diese dann in der Modellsprache L beschreiben.

Grafische Zeichen:

- sei das Bildzeichen für nichtbestehende Sachverhalte;
- sei das Bildzeichen für bestehende Sachverhalte;
- — □ ein Verbindungsstrich zwischen den Bildzeichen für bestehende oder nichtbestehende Sachverhalte deute das Vorliegen der Nachfolgerrelation zwischen den verbundenen Sachverhalten an.

Außerdem wählen wir ein Koordinatensystem, bestehend aus einer Zeitachse und einer "Sachverhaltsachse"; Sachverhalte seien voneinander verschieden, wenn sie verschiedene Positionen auf der Sachverhaltsachse einnehmen. (Strenggenommen müßte eine weitere Koordinate für die gleichartigen Sachverhalte einer Klasse gewählt werden; der besseren Anschaulichkeit halber begnügen wir uns mit der einfachen Grafik.)

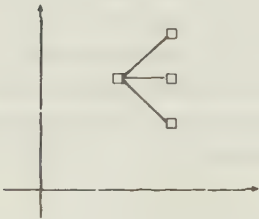
Eine Beispielfigur:



6 Stabilität

In der Wirklichkeit tritt sehr häufig der Fall auf, daß sich bestimmte Sachverhalte über einige Zeit hinweg nicht verändern, oder auch, daß sie auf Dauer "stabil" bleiben. Dies soll in L ausgedrückt werden.

Betrachten wir zunächst den "statistischen Fall der Stabilität", d.h. die als Nachfolgerrelation ausgezeichnete Stabilität sei nur eine unter verschiedenen; nachfolgende Grafik soll dies verdeutlichen:



$$\underline{D_n 3} \quad \text{stab}(s, s') \leftrightarrow ((s \Rightarrow s') \wedge (s \not\Rightarrow s'))$$

6.1 Absolute Stabilität

Als absolute Stabilität bezeichnen wir jene, bei der ein Sachverhalt nur sich selbst (bei Zeitinvarianz) zum Nachfolger haben kann.



$$\underline{D_n 4} \quad \text{astab}(s, s') \leftrightarrow [(s \Rightarrow s') \wedge \neg ((s \Rightarrow s') \rightarrow (s \not\Rightarrow s'))]$$

7 Kausalität

Die Diskussion um Probleme der Kausalität wird seit Jahrhunderten mit Heftigkeit geführt, zuweilen zum Bestandteil von Weltanschauungen gemacht und ist bis heute nicht abgeschlossen. Wir können in dieser Arbeit auf die Kausalitätsdiskussion nicht eingehen oder gar irgendwelche der aufgeworfenen Probleme lösen. Hier wird lediglich per Definition festgelegt, was es in der bisher konzipierten Modellsprache heißen soll, zwischen zwei Sachverhalten bestehe die Relation der kausalen Nachfolge.

Dafür führen wir ein neues Zeichen in L ein: $\Rightarrow$

Sind σ und σ' Sachverhaltsbeschreibungen, dann sei folgende Zeichenreihe eine zulässige Formel in L:

$$(11) \quad (\sigma \Rightarrow \sigma')$$

Die Relation der kausalen Nachfolge wird definiert als:

$$\begin{aligned} \underline{D_n 5} \quad & (s \Rightarrow s') \leftrightarrow \\ & \{(s \Rightarrow s') \wedge \neg(s \equiv s') \wedge \Lambda s", t[(s' \text{ ist Sachverhalt zur Zeit } t) \wedge \\ & (s" \text{ ist Sachverhalt zur Zeit } t) \wedge (s \Rightarrow s") \rightarrow (s' \Rightarrow s")]\} \end{aligned}$$

Für kausale Nachfolgerelationen kann $\underline{G_n 5}$ zum "kausalen Modus Ponens" verschärft werden:

$$\underline{G_n 7} \quad \Lambda s, s' [((s \Rightarrow s') \wedge s) \rightarrow s']$$

Beweis:

$$1 \text{ Annahme} \quad [(s \Rightarrow s') \wedge s]$$

2 Theorem
folgt mit

$$\underline{D_{s1}}, \underline{D_{s2}}, \underline{D_{s4}} \quad \Lambda s \forall t (s \text{ ist Sachverhalt zur Zeit } t)$$

- 3 aus Zeile 1
folgt mit D_n 5 $[(s \Rightarrow s') \wedge s'', t'((s' \text{ ist Sachverhalt z.Zt. } t') \wedge (s'' \text{ ist Sachverhalt z.Zt. } t') \wedge (s \Rightarrow s'')) \rightarrow (s' \Rightarrow s'')]$

- 4 G_n 5 $\wedge s, t[(s \text{ ist Sachverhalt z.Zt. } t) s) \rightarrow \wedge t'[S^2(t', t) \rightarrow \vee s'((s' \text{ ist Sachverhalt z.Zt. } t') \wedge (s \Rightarrow s') \wedge s')]$

- 5 aus Zeilen
1 und 2 folgt $(s \text{ ist Sachverhalt zur Zeit } t^*) \wedge s$

- 6 aus Zeilen
4 und 5 folgt $\wedge t'[S^2(t', t^*) \rightarrow \vee s'(s' \text{ ist Sachverhalt z.Zt. } t') \wedge (s \Rightarrow s') \wedge s']$

- 7 aus Zeile
2 folgt $(s' \text{ ist Sachverhalt zur Zeit } t^{**})$

- 8 aus Zeile
3 folgt $s \Rightarrow s'$

- 9 aus Zeilen
5, 7 und 8
folgt mit
G_n 1 und D_s 6 $S^2(t^{**}, t^*)$

- 10 Zeile 9 in
Zeile 6 ein-
gesetzt;
es folgt mit
Modus Ponens $\vee s'[(s' \text{ ist Sachverhalt z.Zt. } t^{**}) \wedge (s \Rightarrow s') \wedge s']]$

- 11 V Beseitigung $(s^* \text{ ist Sachverhalt z.Zt. } t^{**}) \wedge (s \Rightarrow s^*) \wedge s^*$

- 12 aus den Formeln
(1) $(s' \text{ ist Sachverhalt z.Zt. } t^{**})$ (vgl. Zeile 7)
(2) $(s^* \text{ ist Sachverhalt z.Zt. } t^{**})$ (vgl. Zeile 11)
(3) $s \Rightarrow s^*$ (vgl. Zeile 11)
folgt mit
Zeile 3 $s' \Rightarrow s^*$

aus Zeile 11
folgt ferner s^*

- 13 mit G_s 2 folgt
daraus s'

- 14 Annahme-
beseitigung $[((s \Rightarrow s') s) \rightarrow s']$

Die Spezialisierung von G_n6 für Kausalität lautet:

$$\begin{aligned} \underline{G_n 8} \quad & \lambda x, t, s [\lambda x, t [I_1(x, t) \vee I_2(x, t)](x, t) \Rightarrow s \rightarrow \\ & (\lambda x, t [I_1(x, t)](x, t) \Rightarrow s) \wedge (\lambda x, t [I_2(x, t)](x, t) \Rightarrow s)] \end{aligned}$$

Der Beweis hierfür ist relativ einfach; wegen der komplizierten syntaktischen Struktur sei er hier nur angedeutet:

1.) Man nimmt zunächst den Wenn-Satz von G_n8 an.

Darauf schwächt man den Dreifach-Pfeil zu einem Zweifach-pfeil ab. Mit G_n6 und Modus Ponens erhält man den Dann-Satz mit Zweifach-Pfeil.

2.) Mit der Annahme des Wenn-Satzes von G_n8 und mit D_n5 erhält man die Aussage, daß s der einzige Nachfolgesachverhalt ist. Also ist es erlaubt, die beiden Zweifach-Pfeile in Dreifach-Pfeile zu verschärfen.

Die Definition von $(s \Rightarrow s')$ läßt drei verschiedene Spezialisierungen zu:

$$\begin{aligned} \underline{D_n 6} \quad & (s \Rightarrow s') \leftrightarrow \\ & [(s \Rightarrow s') \wedge \neg(s \equiv s') \wedge \wedge G, H((s \text{ ist SV vom Typ } G) \wedge \\ & (s' \text{ ist SV vom Typ } H) \rightarrow (G=H)) \wedge \wedge s'', t((s' \text{ ist SV z.Zt. } t) \wedge \\ & (s'' \text{ ist SV z.Zt. } t) \wedge (s \Rightarrow s'') \rightarrow (s' \equiv s'')))] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{D_n 7} \quad & (s \Rightarrow s') \leftrightarrow \\ & [(s \Rightarrow s') \wedge \neg(s \equiv s') \wedge \wedge x((s \text{ ist SV über } x) \leftrightarrow \\ & (s' \text{ ist SV über } x)) \wedge \wedge s'', t((s' \text{ ist SV z.Zt. } t) \wedge \\ & (s'' \text{ ist SV z.Zt. } t) \wedge (s \Rightarrow s'') \rightarrow (s' \equiv s'')))] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \underline{D_n 8} \quad & (s \Rightarrow s') \leftrightarrow \\
 & [(s \Rightarrow s') \wedge \neg(s \equiv s') \wedge \forall G, H((s \text{ ist SV vom Typ } G) \wedge \\
 & (s' \text{ ist SV vom Typ } H) \wedge (\neg G = H)) \wedge \forall x((s \text{ ist SV über } x) \wedge \\
 & \neg(s' \text{ ist SV über } x)) \wedge \wedge s'', t((s' \text{ ist SV z.Zt. } t) \wedge \\
 & (s'' \text{ ist SV z.Zt. } t) \wedge (s \Rightarrow s'') \rightarrow (s' \equiv s'')))]
 \end{aligned}$$

$$(\underline{D_n 5^*}) \quad (s \Rightarrow s') \leftrightarrow [(s \Rightarrow s') \quad (s \Rightarrow s') \quad (s \Rightarrow s')]$$

Beweis:

Der Beweis ist mit Hilfe von D_s 1 über die den Definitionen D_n 6, D_n 7 und D_n 8 gemeinsame Bedingung $\neg(s \equiv s')$ zu führen.

$(s \equiv s')$ ist wahr genau dann, wenn die beiden Sachverhalte typengleich sind und Sachverhalte über die gleichen Individuen.

$(s \equiv s')$ ist folglich nicht wahr, wenn:

- 1.) es ein Individuum gibt, das nicht in beiden Sachverhalten vorkommt (D_n 6);
- 2.) die beiden Sachverhalte nicht typengleich sind (D_n 7);
- 3.) Bedingung 1.) und 2.) zutreffen.

Die Relation " $\Rightarrow$ " ist transitiv und asymmetrisch, so daß gilt:

$$\underline{G_n 9} \quad \wedge s, s', s'' [(s \Rightarrow s') \wedge (s' \Rightarrow s'') \rightarrow (s \Rightarrow s'')]$$

Beweis:

Nach Festsetzung in D_n 5 gilt zunächst:

$$(s \Rightarrow s') \rightarrow (s \Rightarrow s') \quad \text{und} \quad (s' \Rightarrow s'') \rightarrow (s' \Rightarrow s'')$$

Nach G_n 3 folgt daraus die Transitivität.

$$\underline{G_n^{10}} \quad \Lambda s, s' [(s \Rightarrow s') \rightarrow \neg (s' \Rightarrow s)]$$

Der Beweis erfolgt mit Hilfe von G_n⁴.

Bestehen zwischen mehreren Sachverhalten kausale Nachfolgerelationen in bestimmter Reihenfolge, so wollen wir von einer *Kausalkette* sprechen:

$$\underline{D_n^9} \quad \begin{aligned} &KK(s, s', s'', \dots, s^{n-1}, s^n) \leftrightarrow \\ &[(s \Rightarrow s') \wedge (s' \Rightarrow s'') \wedge \dots \wedge (s^{n-1} \Rightarrow s^n)] \end{aligned}$$

(Möglicherweise erweist es sich als erforderlich, in manchen Fällen den Begriff der Kausalkette ohne Ende zu definieren.)

7.1 Kausale Ableitbarkeit

Für die kausale Ableitbarkeit verwenden wir das Zeichen " $\vdash_k$ "; es ist zu lesen als "kausal ableitbar".

Ein Satz Ψ sei kausal ableitbar aus $(\phi_1, \dots, \phi_n)$,
formal: $(\phi_1, \dots, \phi_n) \vdash_k \Psi$, genau dann, wenn Ψ aus $(\phi_1, \dots, \phi_n)$ mit Hilfe:

(1) der üblichen Ableitungsregeln der Prädikatenlogik erster Stufe,

(2) der Theoreme für das Zeichen " $\Rightarrow$ "

abgeleitet werden kann.

8 Schema für Kausalgesetze:

Gegeben sei ein Zeitprädikat Δ , so daß gilt: $\Delta[t, t'] \rightarrow S^2(t', t)$
(Beispiele für Δ : $t' = (t + 3)$; t' ist wenigstens ein Tag später als t ; t' folgt auf t in einem Intervall von $t + 5$ - Mindestzeit - bis $t + 8$ - Höchstzeit. Δ wird also jeweils im empirischen Einzel- bzw. Gesetzesfall bestimmt werden müssen.)

Dann seien Kausalgesetze Sätze nach folgendem Schema:

$$\wedge \xi_1, \dots, \xi_n, \tau, \tau' [\Delta[\tau, \tau'] \rightarrow (\pi^k(\xi_1, \dots, \xi_{k-1}, \tau) \Rightarrow \Omega^m(\xi_1, \dots, \xi_{m-1}, \tau'))]$$

wobei für π^{k-1} und Ω^{m-1} Variablen für Klassenterme (λ -Ausdrücke) eingesetzt werden müssen. ($\xi_1, \dots, \xi_n$ seien Mitteilungszeichen der Metasprache für Individuenvariablen, τ, τ' für Zeitvariablen.)

9 Kausalerklärung*):

Nachdem nunmehr ein exakter Begriff des Kausalgesetzes vorliegt, können wir mit dessen Hilfe den Begriff der Kausalerklärung definieren:

D_k1: Das geordnete Paar von Sätzen (T;A) ist ein Kausal-Explanans für einen singulären Satz E genau dann, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- (1) T ist eine Konjunktion von Kausalgesetzen;
- (2) A ist eine molekulare Sachverhaltsbeschreibung, d.h. ein Satz, der aus Sachverhaltsbeschreibungen mit Junktoren aufgebaut ist.
- (3) E ist eine Sachverhaltsbeschreibung, deren Zeitpunkt später ist als alle Zeitpunkte von A;
- (4) T und A sind wahr;
- (5) $T, A \vdash_k E$.

*) In Anlehnung an die Darstellung von W. Stegmüller [Erklärung] verwenden wir künftig einige Symbole und Abkürzungszeichen, die bisher in L nicht eingeführt sind. Zu Mißverständnissen wird es trotzdem nicht kommen.

Bevor wir in die Diskussion des Erklärungsbegriffs eintreten, muß eine generelle Bemerkung vorangestellt werden. Als übliches Beispiel einer adäquaten Erklärung wird sehr oft ein einfacher Modus Ponens-Schluß der Form:

T: $\Lambda x(Rx \rightarrow Sx)$

A: Ra_1

E: Sa_1

gegeben. Eine inhaltliche Deutung wäre etwa:

T: Alle Raben sind schwarz.

A: a_1 ist ein Rabe.

E: a_1 ist schwarz.

Nach D_{k1} (3) wird dies kein adäquates Beispiel einer *Kausal-*erklärung sein, gleichgültig, wie man es in die Modellsprache L übersetzen würde. Denn keinesfalls wäre es vom inhaltlichen Standpunkt aus zu akzeptieren, daß die Eigenschaft "schwarz" der Eigenschaft "Rabe" von einem Ding a_1 zeitlich nachfolgt.

Wir glauben jedoch, daß diese Schlüsse mit Berechtigung und in Einklang mit dem wissenschaftlichen Sprachgebrauch aus der Klasse der Kausalerklärungen eliminiert werden, da niemand argumentiert, daß die Eigenschaft, "ein Rabe zu sein", Ursache sei für die Eigenschaft, "schwarz zu sein". Ob es sich bei dem vorliegenden Fall überhaupt um eine Erklärung handelt, können wir in diesem Zusammenhang nicht untersuchen, da wir keinen anderen Erklärungsbegriff als den der Kausalerklärung zur Verfügung haben. Nach dem ursprünglichen intuitiven, auf Warum-Fragen basierenden Erklärungskonzept erscheint es jedoch als zweckmäßig, den Erklärungsbegriff durch einen Begriff des formal korrekten (deduktiven oder induktiven) deskriptiven Beweises zu ergänzen und solche Fälle darunter zu subsummieren. Der Erklärungs-begriff würde dadurch sehr stark entlastet.

Um solche Beispiele überhaupt diskutieren zu können, werden sie hier immer wie folgt gedeutet und entsprechend in die Sprache L übersetzt: Auf einen Sachverhalt der Art ... folgt mit kausaler Notwendigkeit (zu einem späteren Zeitpunkt) ein Sachverhalt der Art ---.

10 Die Diskussion des Erklärungsbegriffs

Wie in der Einleitung bereits erwähnt, haben zum erstenmal *C.G. Hempel* und *P. Oppenheim* im Jahre 1948 mit ihrer Arbeit "Studies in the Logic of Explanation" zu präzisieren versucht, was eine wissenschaftliche Erklärung sei. Im Jahre 1961 wurde die Inadäquatheit des H-O-Schemas durch *R. Eberle*, *D. Kaplan* und *R. Montague* erwiesen ("Hempel and Oppenheim on Explanation"). Darauf setzte in rascher Folge eine Diskussion des Erklärungsbegriffs in der Zeitschrift "Philosophy of Science" ein, in der auch die beiden erstgenannten Arbeiten erschienen waren. Mit Versuchen der Verbesserung des Schemas bzw. Inadäquatheitsnachweisen beteiligten sich an dieser Diskussion *D. Kaplan* mit "Explanation Revisited", *J. Kim* mit "On the Logical Conditions of Deductive Explanation", *R. Ackermann* mit "Discussion: Deductive Scientific Explanation" sowie *R. Ackermann* und *A. Stenner* mit "Discussion: A Corrected Model of Explanation".

R. Ackermann und *A. Stenner* brachten einen neuen Aspekt in die Diskussion, indem sie den Begriff auf die Erklärbarkeit von Gesetzen und Teiltheorien ausweiteten. *I.A. Omer* mit "On the D-N-Model of Scientific Explanation" und *R. Tuomela* mit "Deductive Explanation of Scientific Laws" führten diesen Aspekt der Diskussion, der hier ausgeklammert wird, weiter.

Ein Verbesserungsvorschlag stammt von *M. Käsbauer* mit "Systematische Analysen 1, Formale Kausalität". Die gesamte

Diskussion (mit Ausnahme der Arbeiten von I.A. Omer und R. Tuomela) wird von W. Stegmüller in [Erklärung] referiert. Die Mängel aller Arbeiten werden dargestellt, wobei M. Käsbaumer selbst pragmatische Argumente gegen sein Schema vorgebracht hat, die W. Stegmüller durch weitere ergänzt.

Im Nachfolgenden soll überprüft werden, ob die Argumente, die gegen die Schemata der angeführten Autoren vorgebracht worden sind, D_k1 erschüttern können.

10.1 Vorläufiges H-O-Erklärungsschema ¹⁾:

D_e1: Das geordnete Paar (T;A) von Sätzen ist ein potentielles Explanans für einen singulären Satz E genau dann, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- (1) T ist eine potentielle Theorie;
- (2) T ist nicht L-äquivalent mit einem singulären Satz²⁾;
- (3) A ist singulär und wahr;
- (4) $T, A \vdash E$
- (5) $\text{non}(A \vdash E)$

Einwand gegen D_e1:

Aus T erhält man durch (eine L-gültige) Allspezialisierung den singulären Satz T_s . E sei wahr. Als Antecedensbedingung wird der (allein wegen der Wahrheit von E) wahre, singuläre Satz $(T_s \rightarrow E)$ gewählt. E folgt nicht aus $(T_s \rightarrow E)$ allein:

T

$T_s \rightarrow E$

—————
E

¹⁾ W. Stegmüller, [Erklärung], S. 713

²⁾ Mit dieser Bestimmung werden L-gültige Sätze eliminiert.

Würde man $D_e 1$ als adäquat anerkennen, hätte man zu akzeptieren, daß vorgegebene Ereignisse durch beliebige Theorien erklärt würden.

Gegen $D_k 1$ kann dieser Einwand aus zwei Gründen nicht vorgebracht werden:

- (1) $D_k 1(2)$ wird verletzt, da A keine molekulare Sachverhaltsbeschreibung sein kann, wenn $D_k 1(1)$ erfüllt ist, da dann T_s keine molekulare Sachverhaltsbeschreibung ist.
- (2) $D_k 1(3)$ wird verletzt, da der Zeitpunkt von E nicht später ist als alle Zeitpunkte von A.

10.2 Verbessertes H-O-Erklärungsschema ³⁾:

Wegen des Einwands gegen $D_e 1$ mußte das Erklärungsschema so verbessert werden, daß derartige Fälle eliminiert werden:

$D_e 2$: Das geordnete Paar von Sätzen (T;A) ist ein potentiell^es Explanans für einen singulären Satz E genau dann, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- (1) T ist eine potentielle Theorie;
- (2) T ist wesentlich generell, d.h. nicht L-äquivalent mit einem singulären Satz;
- (3) A ist singulär und wahr;
- (4) $T, A \vdash E$
- (5) es existiert eine Klasse *K von Basissätzen, aus der zwar A, aber weder E noch $\neg T$ logisch folgt, d.h. es gilt:
 - (a) $*K \vdash A$;
 - (b) $\text{non}(*K \vdash E)$;
 - (c) $\text{non}(*K \vdash \neg T)$.

³⁾ W. Stegmüller, [Erklärung], S. 716

Einwand gegen D_e2:

D_e2 läßt partielle Selbsterklärungen nach folgendem Beispiel zu:

T: $\Lambda x(Px \rightarrow Qx)$

A: $Pa \wedge Ra$

E: $Qa \wedge Ra$

Dieser Einwand kann gegen D_k1 nicht vorgebracht werden.

Bevor dies gezeigt wird, sei eine Zwischenbemerkung eingeschoben: Für alle künftigen Beispiele wird als Δ -Prädikat das Prädikat T^2 gewählt. In den Beispielen seien t_1 und t_2 Zeitpunkte, auf die dieses Prädikat zutrifft. Dies dient der Einfachheit, keinesfalls muß man in allen Beispielen das gleiche Zeitprädikat annehmen.

Das Gegenbeispiel ist in L wie folgt zu formulieren:

T: $\Lambda x, t, t' [T^2(t, t') \rightarrow (G_x^2(x, t) \Rightarrow H_x^2(x, t'))]$

wobei " G_x^2 " und " H_x^2 " Klassenterm-Konstanten sind.

A: $G_x^2(a_1, t_1) \wedge K_x^2(a_1, t_n)$

Daraus folgt mit G_n7: E: $H_x^2(a_1, t_2)$

und mit den üblichen Regeln der Prädikatenlogik auch $K_x^2(a_1, t_n)$, dessen Zeitpunkt jedoch nicht später ist als alle Zeitpunkte von A.

Einwand gegen D_e2 von Eberle, Kaplan und Montague ⁴⁾:

In ihrer kritischen Untersuchung des H-O-Schemas geben die Autoren das folgende Gegenbeispiel:

⁴⁾ R. Eberle, D. Kaplan, R. Montague, [Hempel and Oppenheim]; referiert in: W. Stegmüller, [Erklärung], S. 724

T: $\Lambda x (Kx \rightarrow Lx)$
A: $\frac{\neg Ks \rightarrow Ls}{\vdash Ks \vee Ls}$
E: Ls

Die Klasse *K enthalte als einziges Element den Satz Ks. Ableitungen nach diesem Muster sollen nicht als adäquate Erklärungen angesehen und deshalb eliminiert werden; D_e² leistet dies nicht.

Wiederum kann gezeigt werden, daß D_k¹ diese Ableitung nicht als Kausalerklärung zuläßt:

T: $\Lambda x, t, t' [T^2(t, t') \rightarrow (K_x^2(x, t) \Rightarrow L_x^2(x, t'))]$
A: $\frac{K_x^2(a_1, t_1) \vee L_x^2(a_1, t_2)}{\quad}$

1. Fall: $K_x^2(a_1, t_1)$ sei wahr; dann folgt:

E₁: $L_x^2(a_1, t_3)$

2. Fall: $L_x^2(a_1, t_2)$ sei wahr; dann folgt:

E₂: $L_x^2(a_1, t_2)$

E: $L_x^2(a_1, t_3) \vee L_x^2(a_1, t_2)$

Dies ist keine Sachverhaltsbeschreibung.

Wegen der Implikation von A in oben gebrachtem Gegenbeispiel könnte man noch versuchen, A in L als irgendeine Form der Allspezialisierung von T zu formulieren, aber damit würde sofort gegen D_k¹(2) verstoßen.

Einwand von Stegmüller gegen D_e² ⁵¹:

Der Einwand von Eberle, Kaplan und Montague beruht auf der Problematik sogenannter "leerer Gesetze" (z.B.: "Alle Kentauren sind gute Elektrizitätsleiter."). Mit diesem

⁵¹ W. Stegmüller, [Erklärung], S. 726

Einwand könnte man u.U. fertig werden, indem man durch geeignete Zusatzannahmen solche Gesetze verbietet. Dies lohnt jedoch nicht, da ein weiteres Gegenbeispiel gegeben werden kann, das frei von dieser Problematik ist:

T: $\Lambda x (Px \vee Mx \rightarrow Mx)$

A: $Pa \vee Ma$

E: Ma

Auch dieses Gegenbeispiel wird durch D_k1 ausgeschlossen:

T: $\Lambda x, t, t' [T^2(t, t') \rightarrow [\Lambda x, t (P^2(x, t) \vee M^2(x, t))(x, t)] \Rightarrow$
 $\Lambda x, t [M^2(x, t') (x, t')]]$

A: $\Lambda x, t (P^2(x, t) \vee M^2(x, t)) (a_1, t_1)$

Daraus folgt mit G_n8:

$\Lambda x, t [M^2(x, t)] (a_1, t_1) \Rightarrow \Lambda x, t' [M^2(x, t')] (a_1, t_2)$

Dies verletzt die Bedingung $\neg(s \equiv s')$ in D_n5 und ist demnach falsch.

10.3 Das Erklärungsschema von Kaplan ⁶⁾:

Durch eine Anzahl sogenannter Trivialisierungstheoreme wiesen R. Eberle, D. Kaplan und R. Montague in dem bereits zitierten Aufsatz nach, daß für beliebig vorgegebene Theorien und singuläre Sätze E immer eine daraus abgeleitete Theorie gefunden werden kann, mittels der man dann auch das jeweilige E ableiten kann. Durch Zusatzannahmen versuchte nun D. Kaplan, diese Trivialisierungstheoreme zu umgehen; sein Erklärungsschema lautet:

⁶⁾ D. Kaplan, [Revisited]; referiert in: W. Stegmüller, [Erklärung], S. 745

D_e3: Das geordnete Paar von Sätzen (T;A) ist ein (potentielles) unmittelbares S-Explanans für E genau dann, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- (1) T ist eine Theorie;
- (2) A ist eine Konjunktion von wahren Basissätzen;
- (3) E ist eine Adjunktion von Basissätzen;
- (4) $\{T, A\} \vdash E$
- (5) $\text{non}(A \vdash E)$

Bisher beruhte die (aufgezeigte) Inadäquatheit des H-O-Schemas stets darauf, daß es Fälle als Erklärungen auszeichnete, die man eliminiert haben wollte; es war zu weit. Wie J. Kim ⁷⁾ zeigen konnte, ist das Erklärungsschema D_e3 zu eng, d.h. es schließt Fälle aus, die man als Erklärungen ansieht, etwa bereits folgendes einfache Beispiel:

T: $\Lambda x (Fx \vee Gx \rightarrow Hx)$

A: $Fa \vee Ga$

E: Ha

Dieses Beispiel ist in L wie folgt zu formulieren:

T: $\Lambda x, t, t' [(T^2(t, t') \rightarrow [\Lambda x, t (F(x, t) \vee G(x, t)) (x, t) \Rightarrow H_x^2(x, t')])]$

A: $\Lambda x, t [F(x, t) \vee G(x, t)] (a_1, t_1)$

E: $H_x^2(a_1, t_2)$

D_k1 läßt also dieses Gegenbeispiel gegen den Erklärungsversuch von D. Kaplan zu.

⁷⁾ J. Kim, [Conditions]; referiert in: W. Stegmüller, [Erklärung], S. 747

10.4 Das Erklärungsschema von Kim ⁹⁾:

J. Kim machte die Beobachtung, daß die Inadäquatheit verschiedener Erklärungs-Ableitungen auf einer *umgekehrten Ableitungsbeziehung* beruhe: Die singuläre Prämisse kann jeweils aus dem Explanandum abgeleitet werden ⁹⁾. Deshalb versuchte Kim, D_e2 durch geeignete Zusatzannahmen zu ergänzen, die W. Stegmüller in einer ersten Annäherung wie folgt formuliert: "Keine singuläre Prämisse folgt logisch aus dem Explanandum." ¹⁰⁾. Da man jedoch durch einfache Umformung jede singuläre Prämisse, die diese Forderung erfüllt, in eine äquivalente Aussage transformieren kann, die diese Forderung nicht erfüllt, war diese Ergänzung zu präzisieren ¹¹⁾.

Mit dieser Präzisierung erhält man einen neuen Explanans-Begriff, den W. Stegmüller zur Unterscheidung von anderen K-Explanans nennt:

- D_e4: Das geordnete Paar von Sätzen (T;A) ist ein (potentielles) K-Explanans für einen singulären Satz E genau dann, wenn gilt:
- (1) T ist eine (potentielle) Theorie;
 - (2) A ist singulär und wahr;
 - (3) $T, A \vdash E$;
 - (4) für jedes elementare Glied ϕ von $NF^*(A)$ gilt:
 $\text{non}(E \vdash \phi)$;
 - (5) es gibt eine Klasse $*K$ von Basissätzen, so daß gilt:
 - (a) $*K \vdash A$;
 - (b) für jedes elementare Glied ψ von $NF^*(E)$ gilt:
 $\text{non}(*K \vdash \psi)$;
 - (c) $\text{non}(*K \vdash \neg T)$.

⁸⁾ J. Kim, [Conditions]; referiert in: W. Stegmüller, [Erklärung], S. 755

⁹⁾ W. Stegmüller, [Erklärung], S. 749

¹⁰⁾ W. Stegmüller, [Erklärung], S. 749

¹¹⁾ W. Stegmüller, [Erklärung], S. 749 ff.

"NF*(A)" (und entsprechend "NF*(E)") sei dabei eine Abkürzung für: "die wesentlich reduzierte und ausgezeichnete konjunktive Normalform von (A)".

Einwände gegen D_e4¹²⁾:

1.) T: $\Lambda x(Fx \rightarrow Gx)$

A: $Fa \vee Ga$

*K = {Fa}

E: $Ga \vee Hb$

Wie unmittelbar zu sehen ist, kann bei entsprechender Übersetzung in L überhaupt nichts abgeleitet werden, oder es wird gegen D_k1(3) verstoßen, so daß dieses Beispiel kein Argument gegen D_k1 bildet.

2.) D_e4 erweist sich nicht nur als zu weit, sondern auch als zu eng; es schließt folgende Ableitung als Erklärung aus:

T: $\Lambda x(Fx \vee Gx \rightarrow Hx)$

A: Fa ($\neg Ha \vee Ga$)

E: Ha

da eine wesentlich reduzierte, ausgezeichnete konjunktive Normalform von A als Konjunktionsglied ($Fa \vee Ga \vee Ha$) enthält, und dies folgt logisch aus Ha.

Es kann gezeigt werden, daß diese Ableitung nach D_k1 eine korrekte (Kausal-)Erklärung ist, sofern der in A enthaltene Satz " $\neg Ha$ " so formuliert wird, daß Bedingung D_k1(3) nicht verletzt wird:

¹²⁾ W. Stegmüller, [Erklärung], S. 750 ff.

$T: \lambda x, t, t' [T^2(t, t') \rightarrow [\lambda x, t (F(x, t) \vee G(x, t)) (x, t) \Rightarrow \lambda x, t' (H(x, t')) (x, t')]]$

Daraus folgt nach G_n:

$T': \lambda x, t, t' [T^2(t, t') \rightarrow [\lambda x, t (F(x, t)) (x, t) \Rightarrow \lambda x, t' (H(x, t')) (x, t')]]$

A liege in Klassenschreibweise vor, d.h. als molekulare Sachverhaltsbeschreibung; dann folgt daraus mit Konjunktionsbeseitigung: $\lambda x, t [F(x, t)](a_1, t_1)$

Daraus und aus T' folgt:

$E: \lambda x, t' [H(x, t')](a_1, t_2)$

Aus dem zweiten Konjunktionsglied von A, einer Disjunktion, ist mit T keine Deduktion möglich, aber auch nicht notwendig.

10.5 Einwand gegen D_k1:

An dieser Stelle muß ein möglicher Einwand gegen D_k1 diskutiert werden. Folgendes Beispiel ist denkbar:

$T: \lambda x, t, t' [T^2(t, t') \rightarrow (\lambda x, t (G(x, t) \vee H(x, t)) (x, t) \Rightarrow \lambda x, t' (I(x, t')) (x, t'))]$

$A: \lambda x, t [G(x, t)](a_1, t_1) \wedge \lambda x, t'' [H(x, t'')](a_1, t_2)$

wobei vorausgesetzt wird, daß zwischen t_1 und t_2 ein großer Zeitraum liege (angenommen ein Monat), daß der kausale Nachfolgeablauf jedoch jeweils in wenigen Minuten abgeschlossen sei.

Dann folgt aus T und A:

$E_1: \lambda x, t' [I(x, t')](a_1, t_3)$ und

$E_2: \lambda x, t''' [I(x, t''')](a_1, t_4)$

Verknüpft man E_1 und E_2 konjunktiv zu einem Explanandum, dann wird gegen D_k1(3) verstoßen, weil keine Sachverhalts-

beschreibung vorliegt. E_1 allein verstößt ebenfalls gegen $D_k1(3)$, weil der Zeitpunkt der Sachverhaltsbeschreibung nicht später als alle in A vorkommenden ist. Lediglich die Ableitung von T und A nach E_2 ist nach D_k1 eine adäquate Erklärung.

Obwohl dieses Beispiel formal und in gewisser Weise auch inhaltlich korrekt ist, möchten wir an D_k1 festhalten, mit der Konsequenz, das Beispiel in jenen Fällen, in denen gegen D_k1 verstoßen wird, als nicht adäquat zu verwerfen. Dies scheint konform zu sein mit der tatsächlichen Praxis wissenschaftlichen Arbeitens. Das aufgezeigte Beispiel ist als konjunktive Zusammenfassung und simultaner Vollzug von mehreren Erklärungen zu deuten. D_k1 schließt solche Erklärungen nicht aus, zwingt jedoch zu einem Aufsplittern, das heißt zu zwei getrennten Erklärungen. Dagegen kann weder vom logischen noch vom inhaltlichen Standpunkt etwas eingewendet werden. D_k1 erfüllt damit auch eine pragmatische Forderung.

Ein weiteres Gegenbeispiel ist denkbar, das nur kurz angedeutet werden soll und das die pragmatischen Argumente für eine Aufteilung von "komplexen Erklärungen" in einzelne Erklärungen nach D_k1 stützt: T sei eine Konjunktion zweier miteinander in keinerlei Zusammenhang stehender Theorien ($T_1 \wedge T_2$), etwa der Physik und der Medizin. Dann braucht man als singuläre Einsetzungsinstanzen in T_1 und T_2 nur zwei Prämissen zu wählen, deren Zeitpunkte weit genug auseinander liegen, damit gegen $D_k1(3)$ verstoßen wird.

Mit solchen formal möglichen Konstruktionen könnte man jeden Erklärungsbegriff ad absurdum führen.

10.6 Kausale Begründung

Nach dem H-O-Erklärungsschema (und den anderen Schemata) müßte man folgende Ableitung als Erklärung bezeichnen:

T: $\Lambda x (Fx \rightarrow Gx)$

A: $\neg Ga$

E: $\neg Fa$

M. Käsbauer ¹³⁾ schlägt deshalb vor, den Begriff der Erklärung fallenzulassen und durch den der Begründung zu ersetzen. Sein Plausibilitätsargument lautet etwa folgendermaßen: Die Tatsache, daß eine Stadt bombardiert wurde, erklärt zwar, daß ein Schaden entstanden ist; aber umgekehrt erkläre nicht die Tatsache, daß kein Schaden eingetreten sei, daß nicht bombardiert wurde.

In L könnte man obiges Beispiel wie folgt formulieren:

T: $\Lambda x, t, t' [(T^2(t, t') \rightarrow (F_*^2(x, t) \Rightarrow G_*^2(x, t')))]$

A: $\neg G_*^2(a_1, t_2)$

Unter der Bedingung, daß T wahr ist (D_k1(4)), folgt daraus mit G_n7: $\neg F_*^2(a_1, t_1)$, wobei gelten möge: $T^2(t_1, t_2)$

Da jedoch t_1 früher als t_2 ist, liegt hier keine Kausal-erklärung vor. Da dies mit dem intuitiven Vorverständnis in Einklang steht, besteht auch kein Grund, vom Erklärungs-begriff abzugehen.

Trotzdem wird man den Modus Tollens als Argument im Rahmen wissenschaftlichen Rasonnierens anerkennen müssen. Wir schlagen dafür folgende Änderung von D_k1(3) vor:

¹³⁾ M. Käsbauer, [Formale Kausalität]; referiert in:
W. Stegmüller, [Erklärung], S. 760

D_k2: (3') B ist eine Sachverhaltsbeschreibung mit genau einem Zeitpunkt, der von allen Zeitpunkten von A verschieden sein muß.

(1), (2), (4) und (5) wie D_k1.

Die Begriffe "Explanans" und "Explanandum" wären durch geeignete, etwa "Comprobans" und "Comprobandum" zu ersetzen.

Damit ist eine Definition gegeben, die "kausale Modus-Tollens-Argumente" als Begründungen auszeichnet. Außerdem scheint es möglich, analog zur hier konzipierten Theorie der Nachfolge und kausalen Nachfolge von Sachverhalten eine "Vorgängertheorie" aufzustellen. Die damit möglichen "erklärungsähnlichen" - etwa retrospektiven - Argumentationen könnten ebenfalls als Begründungen bezeichnet werden.

10.7 Das Begründungsschema von Käsbauer ¹³⁾:

M. Käsbauer gibt folgende Definition eines Begründungsbegriffs:

D_e5: $\text{Ratio}(T;A;E)$ genau dann wenn:

- (1) T ist eine potentielle Theorie;
- (2) A ist singulär und wahr;
- (3) $T, A \vdash E$;
- (4) A und E sind relativ zu T aussagenlogisch getrennt.

Nach Definition sind A und E genau dann aussagenlogisch getrennt, wenn kein Konjunktionsglied der nicht reduzierbaren konjunktiven Normalform von E aus einem Disjunktionsglied jener nicht reduzierbaren disjunktiven Normalform von A ableitbar ist, welche mit $\{T, A, E\}$ logisch verträglich ist.

¹³⁾ M. Käsbauer, [Formale Kausalität]

Gegen dieses Schema führt W. Stegmüller folgendes Beispiel von U. Blau ¹⁴⁾ an:

T: $\wedge x (Fx \rightarrow \neg Gx)$
A: $Fa \wedge (Ga \vee Ha)$
E: Ha

Gleichgültig, wie man dieses Beispiel in eine Nachfolge-Relation überführt, würde dieses Beispiel nach D_k1 ausgeschlossen.

¹⁴⁾ W. Stegmüller, [Erklärung], S. 769

B i b l i o g r a p h i e

- Ackermann, R., "Discussion: Deductive Scientific Explanation", in: *Philosophy of Science* Bd. 32 (1965), S. 155-167.
- Ackermann, R., and A. Stenner, "Discussion: A Corrected Model of Explanation", in: *Philosophy of Science* Bd. 33 (1966), S. 168-171.
- Eberle, R., D. Kaplan, and R. Montague [Hempel and Oppenheim], "Hempel and Oppenheim on Explanation", in: *Philosophy of Science* Bd. 28 (1961), S. 418-428.
- Hempel, C.G., and P. Oppenheim, "Studies in the Logic of Explanation", in: *Philosophy of Science* Bd. 15 (1948), S. 135-175; abgedruckt in: *Hempel, C.G. [Aspects]*.
- Hempel, C.G., [Aspects], *Aspects of Scientific Explanation*, New York-London 1965.
- Käsbauer, M., [Formale Kausalität], "Systematische Analysen 1, Formale Kausalität", München 1968; unveröffentlichtes Skript, referiert in: *Stegmüller, W. [Erklärung]*.
- Kaplan, D., [Revisited], "Explanation Revisited", in: *Philosophy of Science* Bd. 28 (1961), S. 429-436.
- Kim, J., [Conditions], "On the Logical Conditions of Deductive Explanation", in: *Philosophy of Science* Bd. 30 (1963), S. 286-291.
- Omer, I.A., "On the D-N-Model of Scientific Explanation", in: *Philosophy of Science* Bd. 37 (1970), S. 417-433.
- Stegmüller, W., "Der Begriff des Naturgesetzes", in: *Studium Generale* Jahrg. 19 (1966), S. 649-657.
- Stegmüller, W., [Erklärung], *Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie, Band 1, Wissenschaftliche Erklärung und Begründung*, Berlin-Heidelberg-New York 1969.
- Stegmüller, W., *Aufsätze zur Wissenschaftstheorie*, Darmstadt 1970; darin: "Das Problem der Kausalität", "Einige Beiträge zum Problem der Teleologie und der Analyse von Systemen mit zielgerichteter Organisation", "Erklärung, Voraussage, wissenschaftliche Systematisierung und nicht-erklärende Information".
- Tuomela, R., "Deductive Explanation of Scientific Laws", in: *Journal of Philosophical Logic* Bd. 1 (1972), S. 369-392.

L e b e n s l a u f

Christian Dietrich Ullmann

geboren am 20. Februar 1942 in Reichenberg/Böhmen

1945 Aussiedlung meiner Familie nach Schwaigern/Württemberg
(bei Heilbronn)

1948 bis 1952 Volksschule in Schwaigern

1952 bis 1954 Gymnasium in der Schloßschule Kirchberg/Jagst
(Internat)

1954 bis 1961 Robert-Mayer-Gymnasium in Heilbronn/Neckar
mit Abitur-Abschluß

danach kaufmännische Tätigkeit in der Fabrik der Eltern

1965 Übersiedlung nach München und Beginn des Studiums an der
Ludwig-Maximilians-Universität (zunächst Hauptfach Zeitungs-
wissenschaft, ab WS 1966/67 Hauptfach Philosophie, Nebenfächer
Logik, Soziologie, Politische Wissenschaft)

1969 Heirat mit Marcela Pojer aus Prag

Von 1969 bis August 1973 arbeitete ich als Angestellter in
der Zentralverwaltung des Goethe-Instituts zur Pflege
deutscher Sprache und Kultur e.V. München

Seit September 1973 Redakteur bei der "Süddeutschen Zeitung".

Bei folgenden Professoren und Dozenten hörte ich Vorlesungen,
bzw. besuchte deren Übungen:

Philosophie, Logik und Wissenschaftstheorie:
W.K. Essler, E. Grassi, M. Käsbauer, F. von Kutschera,
W. Stegmüller

Politische Wissenschaft:
H. Maier, Frau V. Piroshkov

Soziologie:
K.M. Bolte, E. Francis

Zeitungswissenschaft:
O.B. Roegele, F. Ronneberger

